

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-001749

(43)Date of publication of application : 06.01.1999

(51)Int.Cl. C22C 38/00
C22C 38/06
C22C 38/58
C22C 38/60

(21)Application number : 09-152659

(71)Applicant : KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 10.06.1997

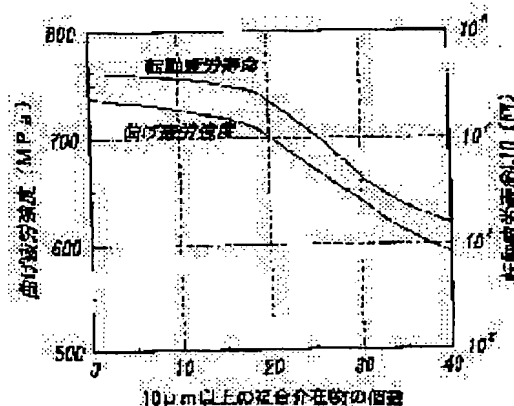
(72)Inventor : NOMURA SUMIE
MATSUSHIMA YOSHITAKE
YASUKI SHINICHI

(54) STEEL FOR INDUCTION HARDENING, EXCELLENT IN BENDING FATIGUE STRENGTH AND ROLLING FATIGUE STRENGTH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a steel for induction hardening, capable of providing machine parts, such as gear, shaft, and uniform velocity joint for automobile, excellent in bending fatigue characteristic and rolling fatigue characteristic by means of induction hardening.

SOLUTION: This steel is composed of a linear or bar-shaped rolled steel stock. In the longitudinal cross section passing through the axis of this rolled steel stock, the number of multiple inclusions of oxide and sulfide of $\geq 10 \mu\text{m}$ average grain size, existing in the inspection area of 100 mm^2 containing, as a center line, a virtual line parallel to the axis and apart from the axis by $1/4.D$ (where D means the diameter of the rolled stock), is regulated to ≤ 20 pieces. This steel can produce excellent bending fatigue strength and rolling fatigue strength by being subjected to induction hardening.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 29.10.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-1749

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月6日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Y
38/06		38/06	
38/58		38/58	
38/60		38/60	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

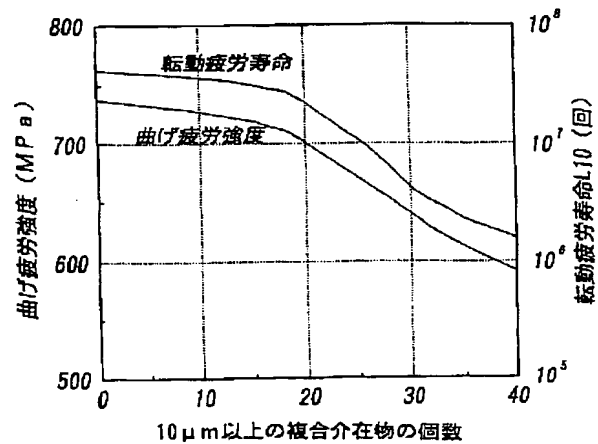
(21) 出願番号	特願平9-152659	(71) 出願人	000001199 株式会社神戸製鋼所 兵庫県神戸市中央区臨浜町1丁目3番18号
(22) 出願日	平成9年(1997) 6月10日	(72) 発明者	野村 澄恵 神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鉄所内
		(72) 発明者	松島 義武 神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鉄所内
		(72) 発明者	安木 真一 神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鉄所内
		(74) 代理人	弁理士 小谷 悦司 (外2名)

(54) 【発明の名称】 曲げ疲労強度および転動疲労強度に優れた高周波焼入用鋼

(57) 【要約】

【課題】 高周波焼入れにより、自動車などの歯車、シャフト、等速ジョイント等の機械部品として優れた曲げ疲労特性と転動疲労特性を備えた部品を与える高周波焼入用鋼を提供すること。

【解決手段】 線状または棒状の圧延鋼材からなり、該圧延鋼材の軸心を通る縦断面において、該軸心と平行で且つ該軸心から $1/4 \cdot D$ (D は圧延材の直径を表わす) 離れた仮想線を中心線として含む被検面積 100mm^2 中に存在する、酸化物系と硫化物系からなる平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の複合介在物の個数が20個以下であり、高周波焼入れにより優れた曲げ疲労強度と転動疲労強度を発現する高周波焼入用鋼を開示する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 線状または棒状の圧延鋼材からなり、該圧延鋼材の軸心を通る縦断面において、該軸心と平行で且つ該軸心から $1/4 \cdot D$ (D は圧延材の直径を表わす) 離れた仮想線を中心線として含む被検面積 100 mm^2 中に存在する、酸化物系と硫化物系からなる平均粒径 $10 \mu\text{m}$ 以上の複合介在物の個数が 20 個以下であることを特徴とする曲げ疲労強度および転動疲労強度に優れた高周波焼入用鋼。

【請求項 2】 C : 0.3% (以下、特記しない限り質量%を意味する) 超 0.7% 以下

Mn : 0.3~2.5%

Si : 2% 以下 (0% を含む)

P : 0.03% 以下 (0% を含む)

S : 0.1% 以下 (0% を含む)

Al : 0.015~0.05%

O : 0.002% 以下 (0% を含む)

残部 : Fe および不可避不純物

の要件を満足する鋼材からなる請求項 1 記載の高周波焼入用鋼。

【請求項 3】 鋼材が、他の元素として

Cu : 0.03~1.0%

Ni : 2% 以下 (0% を含まない)

Cr : 2% 以下 (0% を含まない)

Mo : 2% 以下 (0% を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を含むものである請求項 2 記載の高周波焼入用鋼。

【請求項 4】 鋼材が、更に他の元素として

V : 1% 以下 (0% を含まない)

Nb : 0.1% 以下 (0% を含まない)

Ti : 0.1% 以下 (0% を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を含むものである請求項 2 または 3 記載の高周波焼入用鋼。

【請求項 5】 鋼材が、更に他の元素として

Ca : 0.0005~0.01%

Pb : 0.3% 以下 (0% を含まない)

Te : 0.1% 以下 (0% を含まない)

Bi : 0.1% 以下 (0% を含まない)

Zr : 0.1% 以下 (0% を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を含むものである請求項 2~4 のいずれかに記載の高周波焼入用鋼。

【請求項 6】 鋼材が、更に他の元素として B : 0.01% 以下 (0% を含まない) を含み、N : 0.006% 以下 (0% を含む) である請求項 2~5 のいずれかに記載の高周波焼入用鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は表面硬化処理の行なわれる鋼材に関し、特に高周波焼入れにより、自動車な

2

どの歯車、シャフト、等速ジョイント等の機械部品として優れた曲げ疲労特性と転動疲労特性を備えた部品を与える高周波焼入用鋼に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 高周波焼入れは、従来の浸炭処理や浸炭窒化処理等の表面硬化処理法に比べてエネルギー効率が高く、しかもインライン熱処理が容易で部品の中間ストックを低減できることから、自動車用や建設機械用などを始めとする様々の機械部品、たとえば歯車、シャフト、ピン等の製造に広く活用されている。

【0003】 これらの機械部品は、使用時に過酷な曲げ力や回転力、摩擦力などを受けるので、高度の曲げ疲労特性と転動疲労特性が要求されるが、従来の鋼材を高周波焼入れした機械部品の曲げ疲労特性や転動疲労特性は、従来の浸炭もしくは浸炭窒化焼入れ処理を行なった機械部品に比べると、かなり劣ることが知られている。そこでこうした疲労特性不足の改善策として、鋼素材の硬さや焼戻し軟化抵抗を高めることによる転動疲労特性の向上 (特開昭 60-169547 号)、高周波焼入条件の適正化 (特公平 3-60898 号)、鋼素材の焼入性向上による曲げ疲労特性の改善 (特開平 5-239602 号) などが提案されている。

【0004】 一方最近では、特に燃費や排ガスの低減を期して自動車の軽量化および高出力化の要望が強く、こうした要望に沿うべく機械部品には一層の高強度化が求められ、それに伴って単位重量当たりにかかる負荷は益々増大する傾向があり、上記の様な手段では対応し切れなくなっているのが実情である。特に上記方法によって改質されたものであっても、高負荷がかかる用途に適用すると粗大介在物を起点とする疲労破壊を起こし、需要者の要望に応え得る様な曲げ疲労特性と転動疲労特性が保障し切れなくなっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は上記の様な事情に着目してなされたものであって、その目的は、高周波焼入れにより卓越した曲げ疲労特性と転動疲労特性を発現し得る様な高周波焼入用鋼を提供しようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決することのできた本発明にかかる高周波焼入用鋼とは、線状または棒状の圧延鋼材からなり、該圧延鋼材の軸心を通る縦断面において、該軸心と平行で且つ該軸心から $1/4 \cdot D$ (D は圧延材の直径を表わす) 離れた仮想線を中心線として含む被検面積 100 mm^2 中に存在する、酸化物系と硫化物系からなる平均粒径 $10 \mu\text{m}$ 以上の複合介在物の個数が 20 個以下であり、曲げ疲労強度および転動疲労強度の改善された高周波焼入用鋼である。

【0007】 上記介在物特性と強度特性を与える高周波焼入用鋼の好ましい成分組成としては、

3

C : 0.3%超0.7%以下

Mn : 0.3~2.5%

Si : 2%以下 (0%を含む)

P : 0.03%以下 (0%を含む)

S : 0.10%以下 (0%を含む)

Al : 0.015~0.05%

O : 0.002%以下 (0%を含む)

残部 : Feおよび不可避不純物

の要件を満たすものが挙げられ、あるいはこれらに加えて、

Cu : 0.03~1.0%

Ni : 2%以下 (0%を含まない)

Cr : 2%以下 (0%を含まない)

Mo : 2%以下 (0%を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含む鋼材を使用すると、高周波焼入れなどを一層高めることができ、あるいは更に他の元素として

V : 1%以下 (0%を含まない)

Nb : 0.1%以下 (0%を含まない)

Ti : 0.1%以下 (0%を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有させると、結晶粒の微細化を図ることができ、あるいは更に他の元素として

Ca : 0.0005~0.01%

Pb : 0.3%以下 (0%を含まない)

Te : 0.1%以下 (0%を含まない)

Bi : 0.1%以下 (0%を含まない)

Zr : 0.1%以下 (0%を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有させると、曲げ疲労特性や転動疲労特性等を阻害することなく被削性を更に高めることができ、もしくは更に他の元素としてB : 0.01%以下 (0%を含まない) を含有させると共にN : 0.006%以下 (0%を含む) に抑えれば、高周波焼入れの一層の向上と共に粒界強度の向上を果たすことができるので好ましい。

【0008】

【発明の実施の形態】まず、本発明で重要な構成要素となる介在物の大きさ及び個数の限定理由について詳述する。本発明の高周波焼入れ用鋼は、鋼材を線状もしくは棒状に圧延した圧延鋼材の軸心を通る縦断面において、該軸心と平行で且つ該軸心から $1/4 \cdot D$ (D は圧延鋼材の直径を表わす) 離れた仮想線を中心線として含む被検面積 100mm^2 当たり存在する介在物のうち、酸化物系と硫化物系からなる平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の複合介在物が20個以下、より好ましくは15個以下であるところに特徴を有しており、こうした介在物個数を規定することにより、安定して優れた曲げ疲労特性と転動疲労特性を発現し得るものとなる。

【0009】この要件は、高周波焼入れ後の曲げ疲労特性や転動疲労特性に及ぼす介在物の影響について様々の

4

角度から研究を重ねた結果到達した要件であって、介在物のうち、酸化物系と硫化物系の複合介在物 (以下、酸化物系・硫化物系複合介在物ということがある) のうち平均粒径が $10\mu\text{m}$ 以上の粗大複合介在物を極力少なく抑えれば、高周波焼入れ後の曲げ疲労特性と転動疲労特性が非常に優れたものになるという知見に基づいている。

【0010】ちなみに図1は、多くの実験データの中から上記被検面積 100mm^2 中に存在する平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の複合介在物の個数が、高周波焼入れ後の曲げ疲労強度と転動疲労強度におよぼす影響を整理して示したグラフ (但し、高周波焼入れ条件は、出力: 150kw 、周波数: 20kHz 、ワークコイル移動速度: 21mm/sec) である。

【0011】図1からも明らかである様に、平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の粗大複合介在物が上記被検面積中に20個以下であれば、高周波焼入れ後において高レベルの曲げ疲労強度と転動疲労強度を示すが、その数が20個を超えると、それら疲労強度は急激に低下傾向を示すようになる。

【0012】上記の様に本発明では、特定被検面積中に存在する特定サイズ以上の粗大な酸化物・硫化物系複合介在物の数を規定することにより、高周波焼入れにより優れた曲げ疲労特性と転動疲労特性を発現し得る様にしたところに特徴を有しており、こうした介在物数は、例えば後述する様な成分組成の鋼材を使用し、鑄造乃至圧延の際の温度条件として、例えば鑄造時における凝固点から 1000°C 程度までの鑄片冷却速度を 3°C 程度以上とし、圧延時における加熱温度を 1200°C 程度以下、圧下率を 30% 程度以上、仕上圧延温度を 1100°C 程度以下に制御することにより、その数をより少なく抑えることができるので好ましい。次に、本発明で好ましく用いられる鋼材の化学成分を規定した理由について説明する。

【0013】C : 0.3%超0.7%以下

Cは、強化元素として芯部硬さを確保すると共に、高周波焼入れにより表面硬さを与えるのに有用な元素であり、0.3%以下では十分な表面硬度が得られ難く、満足のいく疲労特性が得られ難くなる。しかし、0.7%を超えて過多に含有させると、芯部の靱性が乏しくなる他、被削性や冷間鍛造性も悪くなり、更には高周波焼入れの際に焼割れを生じ易くなる。C量のより好ましい下限値は0.45%、より好ましい上限値は0.55%である。

【0014】Si : 2%以下 (0%を含む)

Siは、溶製時に脱酸剤として有効に作用する他、強化元素としても作用して芯部硬さの向上に寄与するが、多過ぎると芯部の靱性を劣化させるばかりでなく、被削性や冷間鍛造性にも悪影響を及ぼすので、多くとも2%以下、好ましくは1%以下に抑えるべきである。

5

【0015】Mn: 0.3~2.5%

Mnは溶製時に脱酸剤として有効に作用する他、強度や芯部の靱性を高め、更には高周波焼入性を高め疲労強度の向上に寄与する元素であり、それらの作用を有効に発揮させるには0.3%以上含有させなければならない。しかし、多過ぎると素材が硬くなり過ぎて被削性や冷間鍛造性が悪くなるので、2.5%以下に抑えるべきである。Mnのより好ましい範囲は0.3~2.0%である。

【0016】Al: 0.015~0.05%

Alも溶製時に脱酸成分として有効に作用する他、加熱時におけるオーステナイト結晶粒の成長を抑制して靱性を高める作用も有している。こうした作用は、Alを0.015%以上含有させることによって有効に発揮されるが、それらの作用は約0.05%で飽和するので、それ以上の添加は無意味であるばかりでなく、酸化物系介在物が多量生成して粗大な複合介在物量を増大させ、曲げ疲労特性や転動疲労特性に悪影響を及ぼす様になるので、0.05%以下、より好ましくは0.04%以下に抑えるのが良い。

【0017】S: 0.1%以下(0%を含む)

Sは被削性向上成分として有効に作用するが、多量に含有させ過ぎると、粗大な酸化物系・硫化物系複合介在物が多量生成し、曲げ疲労特性と転動疲労特性に悪影響を与え、特に加工方向に対して横目の強度を著しく低下させるので、0.1%以下に抑えるべきである。Sのより好ましい上限値は0.03%であり、実質的にゼロ%であっても構わない。

【0018】P: 0.03%以下(0%を含む)

Pは粒界偏析を起こして粒界強度を低下させ脆化の原因になるので、0.03%以下、より好ましくは0.02%以下に抑えるのがよい。

【0019】O: 0.002%以下(0%を含む)

Oは、含有量が多くなると複合介在物の核となるAl₂O₃やSiO₂等の粗大酸化物系介在物を多量生成して粗大な複合介在物量を増大させ、曲げ疲労特性や転動疲労特性を劣化させるので、0.002%以下、より好ましくは0.0015%以下に抑えるべきである。

【0020】本発明で好ましく用いられる鋼材の残部成分はFeおよび不可避不純物であるが、必要により更に他の元素として下記の様な元素を適量含有させることによって、高周波焼入用鋼としての特性を一段と改善することが可能である。

【0021】Cu: 0.03~1.0%

Ni: 2%以下(0%を含まない)

Cr: 2%以下(0%を含まない)

Mo: 2%以下(0%を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも1種の元素

これらの元素は、高周波焼入性の向上に寄与する点で同効元素であるが、夫々の作用を詳述すると下記の通りであ

6

る。即ちCuは、焼入性の向上に寄与する他、耐食性の向上にも有効に作用する元素であり、それらの効果は

0.03%程度以上、より好ましくは0.2%程度以上含有させることによって有効に発揮される。しかし、多過ぎると熱間割れを生じ易くなって熱間加工性を害するので、1.0%以下、より好ましくは0.6%以下に抑えるべきである。またNiも高周波焼入性を高めると共に靱性の向上に有効に作用する元素であり、こうした作用は0.2%程度以上含有させることによって有効に発揮されるが、その効果は2%程度で飽和し、それ以上に多くなると高周波焼入れ時に焼割れを生じ易くなるので、2%以下に抑えるべきである。

【0022】Crも高周波焼入性の向上に寄与し、更には炭化物形成元素として作用して微細炭化物を生成させ軟化抵抗を高めて転動疲労特性の向上にも寄与する。こうした効果は0.3%程度以上含有させることによって有効に発揮されるが、2%を超えて過剰に含有させると、素材硬さを低下させて曲げ疲労特性や靱性に悪影響を及ぼす様になるので、2%以下に抑えなければならない。Moも高周波焼入性の向上に寄与する他、炭化物を形成し軟化抵抗を高めて転動疲労特性の向上に寄与し、更にはオーステナイト結晶粒を微細化し、また表層部の圧縮残留応力を増大させる効果も発揮する。こうした効果は0.05%程度以上含有させることによって有効に発揮されるが、含有量が多くなり過ぎると被削性に悪影響が現れてくるので、2%以下、より好ましくは1%以下に抑えるのがよい。

【0023】V: 1%以下(0%を含まない)

Nb: 0.1%以下(0%を含まない)

Ti: 0.1%以下(0%を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも1種の元素

これらの元素は、結晶粒を微細化して靱性向上に寄与する点で同効元素であるが、夫々の作用を詳述すると下記の通りである。即ちVは、炭化物を生成して結晶粒を微細化させる作用を有しており、また炭化物の安定性を高め軟化抵抗を高めて転動疲労特性の向上に寄与する。こうした作用は0.2%程度以上含有させることによって有効に発揮されるが、含有量が多くなり過ぎると、芯部のA₃、A₁変態点が大幅に低下して芯部のγ化が不十分となり、焼きが入りにくくなって硬さ不足となるので、1%以下に抑えるべきである。Nbも、Vと同様に炭化物や炭窒化物形成元素であり、結晶粒を微細化して靱性向上に寄与し、また表面硬さの向上により曲げ疲労特性の向上に有効な元素であり、その効果は0.01%程度以上含有させることによって有効に発揮される。しかしその効果は0.1%程度で飽和し、それ以上に添加しても経済的に不利益となるだけである。Tiも結晶粒の微細化に有効な元素であり、また鋼の脱酸、脱窒にも有効に作用する。またBを同時に含有する場合は、鋼中のNを固定して後述するBの作用をより効果的に発揮させる

作用も有している。しかし、多過ぎるとTiN等の硬質介在物が多量生成して曲げ疲労特性や転動疲労特性を劣化させるので、0.1%以下、より好ましくは0.05%以下に抑えるべきである。

【0024】Ca: 0.0005~0.01%

Pb: 0.3%以下(0%を含まない)

Te: 0.1%以下(0%を含まない)

Bi: 0.1%以下(0%を含まない)

Zr: 0.1%以下(0%を含まない)

よりなる群から選択される少なくとも1種

これらの元素は、いずれも被削性向上に寄与する点で同効元素である。またCa、Te、Zrは、介在物を球状化して異方性を改善する作用も有している。即ちCaは、Mnと共に硫化物系介在物を生成し介在物を球状化して異方性を改善し、且つ靱性や曲げ疲労特性を劣化させずに被削性を高める作用を有しており、それらの効果は0.0005%程度以上、より好ましくは0.0008%以上含有させることによって有効に発揮される。しかし多過ぎると、粗大なCaSや酸化物系介在物の周りに硫化物系介在物が結びついた粗大な複合介在物が多量生成して曲げ疲労特性を劣化させるので、0.01%以下、より好ましくは0.005%以下に抑えるべきである。Pbも被削性向上元素として有効に作用するが、多過ぎると曲げ疲労特性やピッチング寿命を大幅に劣化させるので、0.3%以下、より好ましくは0.1%以下に抑えるべきである。

【0025】Teは、Mn-Teを形成してMnSの周辺に共存し、熱間圧延時におけるMnSの変形を抑制してMnSの球状化を促し、鋼材の靱性や曲げ疲労特性を劣化させずに被削性を高める作用を有している。しかし0.1%を超えると、非金属系介在物量の増大によって曲げ疲労特性を却って悪化させるので、0.1%以下に抑えなければならない。Biも被削性の向上に寄与するが、含有量が多くなりすぎると、曲げ疲労特性や転動疲労特性に悪影響を及ぼすので、0.1%以下に抑えるべきである。Zrも、熱間圧延時におけるMnSの変形を抑えてMnSの球状化に寄与し異方性の改善に有効に作用する他、靱性や曲げ疲労特性を劣化させずに被削性を高める作用を有しているが、多過ぎるとZrO₂等の非金属系介在物量が多くなって曲げ疲労特性を逆に劣化させるので、0.1%以下に抑えるのがよい。

【0026】

B: 0.01%以下(0%を含まない) および

N: 0.006%以下(0%を含む)

Bは極く少量で高周波焼入性を高める他、粒界強度を高めるのに有効な元素であり、特に0.0005%以上含有させるとその効果が有効に発揮される。しかしその効果は0.01%で飽和するので、それ以上の添加は無駄であり、好ましくは0.005%程度以下に抑えるのがよい。またNは、上記Bと結合してBNを生成し、Bの焼入性向上効果を阻害するので、0.006%以下に抑えるべきである。なお、上記本発明の高周波焼入用鋼を用いた高周波焼入れ条件は特に制限されない。

【0027】かくして本発明によれば、鋼材の成分組成を特定すると共に、特定断面を被検面とする粗大な平均粒径の酸化物・硫化物系複合介在物の個数を特定することによって、高周波焼入れにより優れた曲げ疲労特性と転動疲労特性を発現する高周波焼入用鋼を提供し得ることになった。

【0028】本発明の高周波焼入用鋼を用いて歯車等の部品を製造する際には、常法に従って部品形状に加工した後、常法に従って高周波焼入れを行ない、必要によりショットピーニング加工等を行なって、表面を硬質化すれば良い。

【0029】

【実施例】次に、実施例を挙げて本発明の構成および作用効果をより具体的に説明するが、本発明はもとより下記実施例によって制限を受けるものではなく、前後記の趣旨に適合し得る範囲で変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に含まれる。

【0030】実施例1

表1に示す成分組成の鋼材を使用し、鑄造時の冷却速度を変化させて複合介在物の大きさと量を変えるため、No. 1~13, 15, 17では150kg真空溶解炉を用いて溶製してから鑄造し、次いで直径65mmの丸棒に鍛造し、またNo. 14では150kg大気炉を用いて溶製してから鑄造し、次いで直径65mmの丸棒に鍛造し、No. 16では5トンのインゴットに鑄造した後直径65mmの丸棒に圧延した。

【0031】

【表1】

	化 学 成 分 (mass%)													溶 製 方 法
	C	Si	Mn	P	S	Al	O	Cu	Ni	Cr	Mo	N	その他	
1	0.50	0.25	1.49	0.010	0.011	0.030	0.0010	—	—	—	—	0.0064	—	真空炉
2	0.37	0.27	1.87	0.012	0.015	0.017	0.0008	—	—	—	—	0.0070	—	真空炉
3	0.69	0.10	0.37	0.011	0.014	0.016	0.0015	—	—	—	—	0.0068	—	真空炉
4	0.49	0.71	1.51	0.015	0.011	0.048	0.0012	—	—	—	—	0.0068	—	真空炉
5	0.51	0.24	1.51	0.011	0.013	0.027	0.0013	—	—	0.51	—	0.0070	—	真空炉
6	0.52	0.25	1.45	0.013	0.013	0.026	0.0011	—	—	0.49	0.18	0.0074	—	真空炉
7	0.48	0.06	1.47	0.010	0.011	0.028	0.0008	—	—	1.01	0.46	0.0072	—	真空炉
8	0.50	0.21	1.55	0.011	0.016	0.031	0.0013	—	—	0.32	—	0.0065	V:0.34	真空炉
9	0.53	0.23	1.51	0.013	0.012	0.024	0.0012	0.26	0.20	0.53	—	0.0075	—	真空炉
10	0.49	0.25	1.48	0.015	0.012	0.030	0.0013	—	1.70	0.45	—	0.0068	—	真空炉
11	0.51	0.26	1.52	0.015	0.015	0.015	0.0009	—	—	0.49	—	0.0071	Nb:0.037	真空炉
12	0.49	0.24	1.45	0.011	0.014	0.028	0.0011	—	—	0.51	—	0.0048	B :0.0020 Ti:0.022	真空炉
13	0.49	0.27	1.50	0.008	0.010	0.032	0.0011	—	—	0.51	—	0.0075	Ca:0.0013	真空炉
14	0.53	0.25	1.49	0.014	0.012	0.024	0.0031	—	—	0.49	—	0.0075	—	大気炉
15	0.48	0.25	1.47	0.009	0.011	0.070	0.0018	—	—	0.49	—	0.0067	—	真空炉
16	0.51	0.26	1.51	0.010	0.009	0.033	0.0015	—	—	0.51	—	0.0071	—	5ton鋼塊
17	0.52	0.27	1.40	0.011	0.180	0.035	0.0017	—	—	0.45	—	0.0078	—	真空炉

【0032】その後、各丸棒中の非金属介在物を調べるため、図2に示す如く、各丸棒の軸心を含む縦断面において、該軸心と平行で且つ該軸心から直径（縦断面の幅）65mmの1/4・D離れた仮想線を中心線として含む位置から幅20mm×長さ30mmのサンプルを切り出し、EPMAを用いて該断面に存在する非金属介在物の組成、大きさ、個数を調べた。測定は、連続自動運転で倍率は400倍とし、被検面積100mm² 当たり

20

に存在する全ての非金属介在物の組成と大きさ及び個数を測定し、そのうち平均粒径〔（長径+短径）/2〕が10μm以上の酸化物・硫化物系複合介在物の個数を求めた。

【0033】また、直径65mmの各鍛造・圧延材に、30「1200℃×2時間→空冷」の溶体化処理と、「930℃×2時間→空冷」の焼ならし処理を施した後、各丸

棒の1/4・Dの位置から小野式回転曲げ疲労試験片（平滑）を作製した。また、各丸棒の縦断面方向から直径60mm×厚さ5mmの円盤を切り出し、スラスト型回転疲労試験片を作製した。その後、出力150KW、周波数20KHZ、ワークコイル移動速度21mm/secの条件で高周波焼入れ処理を行ない、更に「150℃×2時間→空冷」の焼戻し処理を行なった。その後、回転曲げ試験片はそのまま試験に供した。転動疲労試験については、ラッピング加工を行なった後、面圧527kgf/mm²の条件で転動疲労試験を行なった。結果を表2に示す。なお転動疲労試験結果については、L₁₀（10%累積破損率）で評価した。

【0034】

【表2】

	複合介在物の 個数 (個/mm ²)	表面硬さ	ECD (mm) HV:550	回転曲げ 疲労強度 (MPa)	転動疲労 寿命 L ₁₀ (回)
1	8	HV 754	1.25	726	5.4×10 ⁷
2	6	HV 702	1.03	691	5.0×10 ⁷
3	12	HV 749	1.36	735	6.3×10 ⁷
4	10	HV 760	1.29	716	7.5×10 ⁷
5	11	HV 760	1.28	745	5.9×10 ⁷
6	13	HV 785	1.14	765	4.5×10 ⁷
7	11	HV 772	1.10	755	5.0×10 ⁷
8	13	HV 761	1.21	735	5.5×10 ⁷
9	11	HV 780	1.33	716	6.2×10 ⁷
10	14	HV 790	1.17	726	6.2×10 ⁷
11	15	HV 743	1.12	706	4.8×10 ⁷
12	10	HV 769	1.20	716	5.1×10 ⁷
13	13	HV 749	1.10	706	4.5×10 ⁷
14	35	HV 735	1.15	608	3.0×10 ⁶
15	40	HV 745	1.12	588	4.9×10 ⁶
16	39	HV 750	1.17	608	6.1×10 ⁶
17	45	HV 759	1.24	618	6.3×10 ⁶

ECD:有効硬化層深さ(Effective Case Depth)

【0035】表1, 2より次の様に解析することができる。No. 1~13は本発明の規定要件を全て満たす実施例であり、鋼材の成分組成が適正で平均粒径10μm以上の酸化物・硫化物系複合介在物の数が20個以下であるため、曲げ疲労強度と転動疲労強度のいずれにおいて優れた結果が得られている。

【0036】これに対しNo. 14~17は、本発明の規定要件を欠く比較例であり、No. 14は、溶製を大気炉で行なったため鋼材のO量が多く、ひいては酸化物・硫化物系複合介在物の平均粒径が大きく且つその数も多くなり、曲げ疲労強度および転動疲労寿命のいずれも*

*悪い。No. 16は、鋳造時の冷却速度が遅いため粗大な酸化物・硫化物系複合介在物が多く、曲げ疲労強度が低く且つ転動疲労寿命も短い。またNo. 17は、鋼材中のS含有量が多いため粗大な複合介在物が多くなり、やはり曲げ疲労強度および転動疲労寿命が乏しい。

【0037】実施例2

表3に示す化学成分の鋼材を150kg真空溶解炉で溶製し、鋳造後、直径65mmの丸棒に鍛造した。

【0038】

【表3】

	化 学 成 分 (mass%)												溶 製 方 法
	C	Si	Mn	P	S	Al	O	Cu	Ni	Cr	Mo	N	
18	0.50	0.25	1.49	0.010	0.011	0.030	0.0010	—	—	—	—	0.0064	真空炉
19	0.37	0.27	1.87	0.012	0.015	0.017	0.0008	—	—	—	—	0.0070	真空炉
20	0.69	0.10	0.37	0.011	0.014	0.016	0.0015	—	—	—	—	0.0068	真空炉
21	0.49	0.71	1.51	0.015	0.011	0.048	0.0012	—	—	—	—	0.0068	真空炉
22	0.53	0.25	1.49	0.014	0.012	0.024	0.0031	—	—	0.49	—	0.0075	大気炉
23	1.52	0.27	1.40	0.011	0.180	0.035	0.0017	—	—	0.45	—	0.0078	真空炉

【0039】その後、各丸棒中の非金属介在物を調べるため、図2に示した如く、各丸棒の軸心を含む縦断面において、該軸心から1/4・D離れた仮想線を中心線として含む位置から幅20mm×30mmのサンプルを切り出し、前記実施例1と同様にしてEPMAにより該断面に存在する非金属介在物の組成、大きさ、個数を調べた。測定は、連続自動運転で倍率は400倍とし、被検面積100mm² 当たり存在する全ての非金属介在物

の組成と大きさ及び個数を測定し、そのうち平均粒径〔(長径+短径)/2〕が10μm以上である粗大な酸化物・硫化物系複合介在物の個数を求めた。

【0040】その後、「875℃×1時間→60℃油冷」の焼入処理を行ない、「575℃×1時間→水冷」の焼もどし処理を行なった後、丸棒の軸心から1/4・D離れた位置から小野式回転曲げ疲労試験片(平滑)を作製した。また、各丸棒の縦断面方向から直径60mm×

13

厚さ 5 mm の円盤を切り出してスラスト型回転疲労試験片を作製した。ついで、上記実施例 1 と同様に出力 150 KW、周波数 20 KHZ、ワークコイル移動速度 21 mm/sec の条件で高周波焼入れ処理を行ない、更に「150℃×2 時間→空冷」の焼もどし処理を行なった。その後、回転曲げ試験片はそのまま試験に供した。*

14

* 転動疲労試験については、ラッピング加工を行ない、面圧 527 kgf/mm² の条件で転動疲労試験を行なった。結果を表 4 に示す。なお転動疲労試験結果については、L₁₀ (10% 累積破損率) で評価した。

【0041】

【表 4】

	複合介在物の個数 (個/mm ²)	表面硬さ	ECD (mm) HV:550	回転曲げ 疲労強度 (MPa)	転動疲労 寿命 L ₁₀ (回)
18	8	HV 748	1.20	735	3.5×10 ⁷
19	6	HV 723	1.15	708	4.2×10 ⁷
20	12	HV 760	1.29	726	4.9×10 ⁷
21	10	HV 771	1.34	716	5.1×10 ⁷
22	35	HV 750	1.20	608	2.0×10 ⁶
23	45	HV 739	1.19	618	3.0×10 ⁶

ECD: 有効硬化層深さ (Effective Case Depth)

【0042】表 3、4 より次の様に考えることができる。No. 18~21 は、本発明の規定要件を満たす実施例であり、鋼材組成が適正で且つ平均粒径 10 μm 以上の酸化物・硫化物系複合介在物の数がいずれも 20 個以下であり、曲げ疲労強度および転動疲労強度のいずれも優れた結果が得られている。なお本実施例の転動疲労寿命は、実施例 1 の焼ならし処理鋼よりもやや劣っているが、比較鋼よりも優れており、問題のないレベルである。

【0043】これに対し No. 22、23 は、本発明の規定要件を欠く比較例であり、No. 22 は、溶製を大気炉で行なったため鋼材の O 量が多く、その結果として酸化物系介在物のサイズが大きく且つ個数も多くなり、ひいては粗大な酸化物・硫化物系複合介在物が多く、曲げ疲労強度および転動疲労寿命のいずれも悪い。また No. 23 は、鋼材中の S 含有量が多いため粗大な複合介在物が多くなり、やはり曲げ疲労強度および転動疲労寿命が乏しい。

【0044】

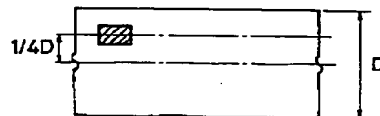
【発明の効果】本発明は以上の様に構成されており、特定断面を被検面とする特性サイズの酸化物・硫化物系複合介在物の個数を特定することによって、高周波焼入れにより優れた曲げ疲労強度と転動疲労寿命を発現する高周波焼入れ用鋼を提供し得ることになった。また、こうした特性を有する高周波焼入れ用鋼は、請求項 2~6 で規定する様な成分組成の鋼材を使用し、且つ真空炉等を用いて溶製時の酸素の混入を抑え、また製造時における凝固温度以下の鋳片冷却速度を早くする等の手段を講じることによって容易に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

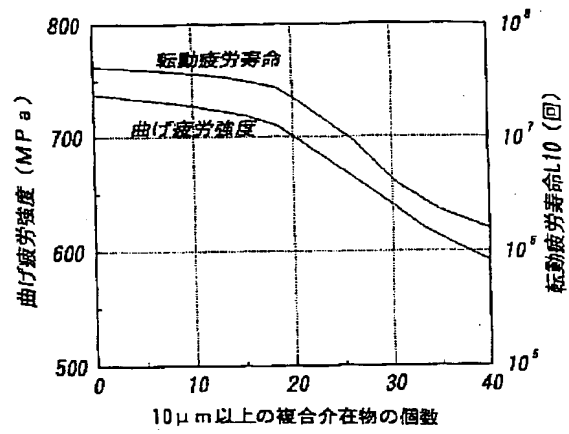
【図 1】酸化物・硫化物系複合介在物 (平均粒径 10 μm 以上) の個数と曲げ疲労強度および転動疲労寿命の関係を示すグラフである。

【図 2】酸化物・硫化物系複合介在物数の測定領域を示す説明図である。

【図 2】



【図 1】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.